SNI

SNI 6467.2:2012

Standar Nasional Indonesia

Tata cara pengukuran debit pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas

ICS 93.010

Badan Standardisasi Nasional

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Halaman

Daftar isi i

Prakata ii

Pendahuluan iii

1 Ruang lingkup 1

2 Acuan normatif 1

3 Istilah dan definisi 1

4 Ketentuan dan persyaratan 4

4.1 Peralatan 4

4.2 Kalibrasi 5

4.3 Penggunaan metode 5

5 Rumus-rumus perhitungan 7

5.1 Rumus perhitungan debit untuk metode kemiringan luas 7

5.2 Rumus untuk perhitungan daya hantar 7

6 Pengukuran dan perhitungan debit puncak sungai 8

7 Evaluasi hasil 10

8 Laporan 11

Lampiran A Bagan alir (normatif) 12

Lampiran B Contoh perhitungan (Formulir Isian) (normatif) 14

Lampiran C Contoh perhitungan (Isian Formulir) (informatif) 17

Lampiran D Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya (informatif) 20

Bibliografi 21

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

© BSN 2012

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 'Tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas' merupakan revisi **SNI 03-6467.2-2000, Tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas** dan **SNI 03-3413-1994, Metode pengukuran debit puncak sungai dengan cara tidak langsung** yang mengacu pada ASTM D5130-95 (Reapproved 2008), *Standard Test Method For Open Channel Flow Measurement of Water Indirectly by Slope-Area Method.*

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Teknis Sipil 91.01 pada Sub Panitia Teknis 91-01-S1 Bidang Sumber Daya Air. Standar ini telah dibahas pada forum rapat Konsensus pada tanggal 7 Desember 2008 dengan melibatkan beberapa pakar, instansi /lembaga terkait dan nara sumber.

Standar ini diharapkan dapat menjadi acuan dan pegangan dalam pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas untuk perhitungan debit *(laju volume aliran)* pada saluran terbuka atau sungai dengan menggunakan karakteristik penampang yang representatif, kemiringan muka air, dan koefisien kekasaran saluran, sebagai masukan pada perhitungan aliran berubah lambat laun. Tata cara ini menghasilkan pengukuran debit tidak langsung untuk satu kejadian, misalnya banjir tertentu. Hasil perhitungan debit ini bisa digunakan untuk membentuk segmen banjir hubungan antara debit terhadap tinggi muka air *(lengkung debit).*

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Pendahuluan

Metode Kemiringan-Luas digunakan untuk menentukan debit secara tidak langsung dari suatu ruas sungai setelah banjir terjadi dengan menggunakan tanda bekas banjir dan karakteristik fisik penampang melintang pada ruas sungai tersebut. Survei lapangan dilakukan setelah banjir terjadi untuk menentukan jarak antara dua penampang melintang dan elevasi tanda bekas banjir dan pengukuran penampang sungai sampai dengan batas banjir.

Adapun kegunaan tata cara ini adalah sebagai berikut :

a) Untuk menentukan debit bila tidak dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat ukur arus (*current meter*).

b) Tim pengukur tidak perlu mengukuran debit secara langsung disaat sedang banjir. Pada lokasi bencana, pengukuran debit dapat dilakukan setelah banjir terjadi.

c) Untuk mendapatkan data pengukuran debit banjir pada suatu pos duga air guna pembuatan lengkung debit (*rating curve*).

Metode ini sangat aman bagi keselamatan tim pengukur dan tidak banyak membutuhkan alat bantu/fasilitas pengukuran seperti jembatan, *winch cable way*, kereta gantung dan lain-lain, sehingga sangat bermanfaat bagi praktisi di lapangan untuk menentukan besarnya debit banjir

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

© BSN 2012

“Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Tata cara pengukuran debit pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka/sungai secara tidak langsung dengan metode kemiringan-luas. Tata cara ini dimaksudkan untuk menghitung debit *(laju volume aliran)* air pada saluran terbuka atau sungai dengan menggunakan karakteristik penampang yang representatif, kemiringan muka air, dan koefisien kekasaran saluran/sungai.

Tata cara ini menghasilkan pengukuran debit tidak langsung untuk satu kejadian tertentu yang berarti dapat digunakan untuk kondisi normal atau banjir. Hasil perhitungan debit ini bisa digunakan untuk pembuatan grafik hubungan antara debit terhadap tinggi muka air (lengkung debit - *rating curve*) pada suatu pos duga air.

2 Acuan normatif

SNI 2819, *Metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus tipe baling-baling*.

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang berkaitan dengan standar ini adalah:

3.1
sungai
tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari sumber air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan yaitu garis luar pengaman (PP 35/1991, Per.Men. PU 63/PRT/1993, UU SDA No. 7/2004).

3.2
saluran terbuka
torehan alami/buatan dipermukaan bumi yang merupakan wadah dan penyalur aliran air dari hulu ke bagian hilir secara periodik atau kontinyu dan/atau dapat bermuara ke sungai/saluran terbuka lain, ke danau atau ke laut.

3.3
alfa (α)
sebuah koefisien tinggi-tekan kecepatan yang menyatakan perbandingan antara tinggi-tekan kecepatan yang sebenarnya terhadap tinggi-tekan kecepatan yang dihitung atas dasar kecepatan aliran rata-rata. Apabila penampang melintang tidak dibagi-bagi maka nilai α dianggap sama dengan 1,0. Apabila penampang melintang dibagi-bagi maka nilai α dihitung dengan persamaan :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{k_i^3}{a_i^2}\right)}{\frac{K_T^3}{A_T^2}} \quad \text{..... (1)}$$

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

keterangan:

k_i dan a_i adalah daya hantar dan luas setiap sub bagian sebuah penampang melintang yang ditunjukkan dengan subskrip i, dan

K_T dan A_T adalah seluruh daya hantar dan luas penampang total dari sebuah penampang melintang.

m adalah banyaknya sub penampang

3.4

daya hantar (K)

Kapasitas alir saluran/sungai dinyatakan dengan satuan meter kubik per sekon (m^3/s). Daya hantar dihitung dengan rumus:

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad \text{..... (2)}$$

keterangan:

n adalah koefisien kekasaran Manning.

A adalah luas penampang melintang (m^2)

R adalah jari-jari hidraulik (m).

3.5

penampang melintang

suatu penampang yang tegak lurus terhadap arah aliran yang menggambarkan geometri sungai/saluran terbuka. Pengukuran penampang melintang dilakukan dengan cara mengukur jarak horisontal dan elevasi dasar sungai dari suatu titik referensi yang telah diketahui elevasinya. Titik titik pengukuran harus cukup banyak sehingga dapat diperoleh geometri penampang melintang yang sebenarnya. Lokasi pengukuran penampang-penampang melintang dipilih pada ruas saluran di mana perubahan profil muka air banjir terlihat jelas (perbedaan elevasi muka air pada penampang hulu dan hilir terlihat secara jelas), namun bukan berupa terjunan

3.6

luas penampang melintang (A)

luas penampang basah dihitung dengan interpolasi garis lurus antara elevasi pada kedua tebing saluran/sungai. Luas dihitung dengan cara menjumlahkan hasil perkalian antara kedalaman aliran rata-rata dengan lebar di antara setiap dua titik pengukuran yang berdekatan dalam suatu penampang melintang

3.7

kehilangan energi karena hambatan aliran (hf)

kehilangan energi akibat hambatan yang disebabkan karena gesekan air di sepanjang dinding ruas saluran dan setara dengan :

$$hf = \Delta h + \Delta h_v - c\,(\Delta hv) \quad \text{..... (3)}$$

keterangan:

Δh adalah beda tinggi muka air.

Δhv adalah selisih tinggi-tekan kecepatan hulu dengan hilir.

c (Δhv) adalah kehilangan energi disebabkan percepatan atau perlambatan dari arus aliran pada penyempitan atau pelebaran ruas saluran, dengan c adalah koefisien.

Semua persamaan yang disajikan pada standar ini berdasarkan anggapan bahwa bila ruas saluran menyempit maka nilai c = 0 (nol) dan bila ruas saluran melebar maka nilai c = 0,50.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

3.8
beda tinggi muka air (Δh)
beda tinggi muka air dihitung dengan cara mengukur perbedaan muka air rata-rata dari setiap dua penampang melintang yang berurutan.

3.9
kemiringan garis energi (Sf)
kehilangan energi dibagi dengan panjang ruas saluran yang diamati atau:

$$S_f = \frac{h_f}{L} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Jika Δh_v negatif (untuk ruas saluran menyempit) maka:

$$S_f = \frac{\Delta h + \Delta h_v}{L} \quad \text{.....} \quad (5)$$

Jika Δh_v positif (untuk ruas saluran melebar) maka:

$$S_f = \frac{\Delta h + \frac{\Delta h_v}{2}}{L} \quad \text{.....} \quad (6)$$

Keterangan:
S^f adalah kemiringan garis energi
Δh adalah beda tinggi muka air
L adalah panjang penampang

3.10
bilangan Froude (F)
suatu indeks yang menyatakan sifat aliran dari saluran. Pada saluran prismatik jika nilai F kurang dari 1,0 maka aliran relatif bersifat tenang atau subkritis, tetapi jika nilai F lebih dari 1,0 maka aliran relalif bersifat cepat atau superkritik. Bilangan Froude dihitung dengan rumus.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g d_m}} \quad \text{.....} \quad (7)$$

keterangan:
V adalah kecepatan aliran rata-rata di setiap penampang melintang (m/s)
d_m adalah kedalaman aliran rata-rata di setiap penampang melintang (m)
g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

Bilangan Froude digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perubahan kondisi aliran *(state of flow)* dari subkritis menjadi kritis atau sebaliknya, apabila hal itu terjadi maka hasil perhitungan kurang teliti. Hal tersebut terjadi dikarenakan oleh lokasi kurang tepat untuk pengukuran tidak langsung misal terjadi loncatan hidraulis *(hydraulic jump)* atau terjunan *(free fall)* dan sebaiknya lokasi dipindahkan, namun apabila perubahan tersebut terjadi secara pelan-pelan, maka hasil perhitungan adalah teliti dan lokasi pengukuran tidak perlu dipindahkan.

3.11
tanda bekas banjir
bukti nyata dan benar dari tinggi muka air yang terjadi pada suatu kejadian banjir. Biasanya yang digunakan sebagai tanda banjir adalah lumpur, sampah, garis-garis kotor dan kikisan air banjir. Kemiringan muka air banjir ditentukan oleh tanda bekas banjir

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

3.12
jari-jari hidraulik (R)
luas penampang melintang atau sub penampang melintang dibagi dengan keliling basah atau R = A / P

3.13
koefisien kekasaran *(n)* atau angka Manning
ukuran hambatan aliran pada saluran. Faktor yang mempengaruhi besarnya hambatan terhadap aliran adalah sifat material dasar saluran, ketidak teraturan penampang melintang, kedalaman aliran, vegetasi dan trase saluran dari suatu kejadian banjir. Penetapan angka kekasaran dapat pula dilakukan dengan memperhatikan pengalaman dan hasil penelitian yang pernah dilakukan.

3.14
tinggi-tekan kecepatan (h_v)
dihitung sebagai berikut:

$$h_v = \frac{\alpha V^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (8)$$

keterangan:
α adalah koefisien tinggi tekan kecepatan
V adalah kecepatan aliran rata-rata (m/s)
g adalah percepatan gravitasi (m/s^2)

Kecepatan rata pada bagian penampang terkecil A adalah total luas penampang melintang dan V = kecepatan rata – rata, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{1}{A}\Sigma\left[\left(\frac{\upsilon}{V}\right)^3 \Delta A\right] \quad \text{.....} \quad (9)$$

keterangan:
α adalah koefisien tinggi tekan kecepatan
V adalah kecepatan aliran rata-rata (m/s)
A adalah luas penampang melintang (m^2)
ΔA adalah beda luas penampang melintang (m^2)

3.15
keliling basah (P)
keliling basah dari penampang sungai/saluran yaitu panjang dasar dan tebing sungai/saluran yang terkena aliran air pada penampang melintang sungai dari suatu kejadian banjir

4 Ketentuan dan persyaratan

4.1 Peralatan

Peralatan yang diperlukan sebagai berikut :

a) Peralatan pemetaan yang terdiri dari: alat ukur penyipat ruang, alat ukur penyipat datar dengan alat baca sudut datar, peralatan pemetaan yang terbaru yang dilengkapi sistem elektronik atau peralatan pemetaan canggih lainnya, rambu standar, rambu teleskop 7,6 m, *hand level*, pita ukur terbuat dari metal atau baja, *tag line* (pita baja kecil bertanda

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

tertentu untuk mengukur jarak), distance meter, bendera warna, patok ukur, kamera (dianjurkan yang digital), GPS, meteran, alat tulis sesuai dengan keperluan.

b) Papan duga air khusus *(special staff gauge),* dengan jumlah disesuaikan dengan kondisi lapangan

c) Peralatan tambahan yang diperlukan antara lain: kampak, skop, perahu dengan dayung dan motor, sepatu lapangan, baju merawas, jas hujan, palu, alat ukur kedalaman aliran, alat ukur lebar aliran, radio komunikasi dua arah atau telepon genggam, tali plastik untuk menambatkan perahu dan payung.

d) Peralatan keamanan dan keselamatan pengukur antara lain meliputi baju pelampung, kotak P3K.

4.2 Kalibrasi

Kalibrasi yang harus dilakukan pada pengukuran debit secara tidak langsung adalah:

a) Kalibrasi terhadap hasil pengukuran metode ini dapat dilakukan dengan cara mengukur debit dengan metode lainnya, diantaranya dengan metode pelampung, rumus bendung dari lokasi bendung terdekat (jika ada)

b) Kalibrasi terhadap seluruh peralatan yang digunakan berdasarkan standar yang berlaku dan dilakukan sebelum pekerjaan dimulai

c) Semua data lapangan mengenai data pemetaan harus diperiksa sebelum dilaksanakan perhitungan lanjutan.

4.3 Penggunaan metode

Penggunaaan metode ini secara umum dijelaskan sebagai berikut:

a) Penggunaan metode ini merupakan salah satu cara mengukur debit bila tidak dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat ukur arus, terutama pada lokasi yang sulit dan membahayakan bagi petugas pengukuran debit secara langsung, terutama pada saat banjir, dikarenakan waktu kejadian banjir sangat cepat serta membawa material banjir sampah, pohon dan material hanyutan lainnya.

b) Metode ini dapat digunakan untuk mengukur banjir pada saat sebelum dan sesudah banjir terjadi pada sembarang lokasi pos duga air termasuk lokasi bencana alam banjir.

c) Pemilihan ruas saluran terbuka/sungai merupakan langkah awal yang terpenting untuk memperoleh data banjir yang otentik, oleh karena itu berbagai elemen pada ruas saluran harus dipertimbangkan antara lain:

1) Tanda bekas banjir, contoh dapat dilihat pada Tabel 1 di Lampiran (Formulir SL-1)

2) Ruas sungai/saluran terbuka mendekati bentuk seragam, lebih baik berbentuk mendekati trapesium.

3) Pada ruas saluran yang lurus namun menyempit di bagian hilirnya,

4) Ruas saluran harus cukup panjang minimal 3 kali lebar sungai pada saat banjir dan tidak meluap.

5) Beda elevasi muka air antara penampang di hulu dan hilir harus sama dengan atau lebih dari 0,15 m.

6) Ruas saluran yang digunakan untuk pengukuran tidak terdapat penambahan atau

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

pengurangan volume aliran

d) Penampang melintang yang dipilih harus mewakili geometri ruas sungai/saluran. Sebagai contoh: penampang melintang 2 harus serupa dengan setengah panjang ruas saluran ke arah hulu menuju penampang 1 dan serupa dengan setengah panjang ruas saluran ke arah hilir menuju penampang 3. Sangat disarankan untuk mengukur paling sedikit 3 penampang melintang pada setiap lokasi pengukuran.

e) Koefisien kekasaran (*n),* ditentukan pada setiap penampang atau sub bagian penampang. Faktor yang berpengaruh dalam penentuan angka (*n*) adalah sebagaimana disebutkan pada 3.13 bentuk alur, jenis, ukuran dan bentuk material yang terdapat pada dasar, tebing alur, vegetasi dan bentuk trase sungai. Cara-cara menentukan angka (*n)* diberikan dalam berbagai buku referensi hidraulika.

Cowan menggambarkan prosedur menaksir faktor yang berpengaruh untuk menentukan angka (*n*) suatu alur. Dalam prosedur tersebut angka (*n*) dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m \quad \text{.....} \quad (10)$$

keterangan:

n_b adalah suatu angka dasar (*n)* untuk saluran yang lurus, seragam dan halus pada kondisi material alamiah.

n_1 adalah suatu angka yang ditambahkan untuk mengkoreksi pengaruh ketidak teraturan dasar saluran.

n_2 adalah suatu angka yang besarnya tergantung dari bentuk dan ukuran penampang alur.

n_3 adalah suatu angka untuk hambatan/obstraksi.

n_4 adalah suatu angka untuk kondisi vegetasi dan aliran.

m suatu faktor koreksi untuk meander alur.

f) Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan angka n antara lain:

1) Angka (*n*) ditentukan pertama-tama berdasarkan angka dasar untuk ruas saluran yang lurus, dan berbentuk seragam, dengan material dasar yang ada yang terdapat pada keliling basah dan kemudian menyesuaikannya dengan kondisi lain yang mempengaruhi aliran.

2) Ketidak teraturan tebing dapat menambah angka (*n)* dasar sebesar 0,020. Tebing yang berubah lambat laun kecil pengaruhnya terhadap angka (*n*).

3) Vegetasi dapat menambah angka (*n)* dasar maksimum sebesar 0,040, tergantung dari pada besarnya persentase penampang yang tertutup vegetasi, jenis dan kerapatan, serta tinggi tumbuh vegetasi terhadap kedalaman aliran.

4) Kedalaman aliran selalu tidak berpengaruh terhadap angka (*n)* dasar. Sebagai contoh sungai yang mempunyai material dasar kerikil dan kerakal serta kekasaran tebing kurang dari kekasaran dasar sungai, bila elevasi tinggi muka air naik maka angka (*n)* dapat berkurang.

5) Hambatan, seperti batu-batu yang tersebar tidak teratur atau terpisah akan dapat menahan aliran lebih besar jika dibanding batu-batu itu tersebar mendekati seragam, oleh karena itu harus digunakan angka (*n*) yang lebih besar.

6) Alur yang berbentuk melengkung atau membelok dapat meningkatkan angka (*n)* kurang dari 0,003, kecuali kalau melengkung tajam. Alur yang melengkung/ membelok tajam harus dihindari.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

7) Karakteristik aliran pada sungai *meander* akan berubah mendadak, bila melimpas bantaran memotong meander tersebut dan alirannya mengikuti arah lembah. Angka *n* bisa bertambah besar, tergantung dari pada kondisi limpasan. Menurut (Ven Te Chow), bila aliran sepenuhnya masih tertampung di dalam alur, maka meander dapat menambah angka (*n)* 30 %.

8) Contoh : Kisaran angka (*n)* Manning untuk sungai dengan material dasar kerakal yang bersih adalah 0,028 sampai 0,035. Bila dianggap sebesar 0,030 kemudian dit*am*bah 0,003 karena tebing tidak teratur, dan dengan meninjau vegetasi ditambah 0,010, serta tidak ditambah apapun karena alur lurus dan kedalaman aliran tidak berpengaruh maka angka (*n)* adalah = 0,043.

9) B*il*a terdapat dua orang atau lebih memilih angka (*n*) maka sama sekali tidak boleh merata-ratakan angka itu berdasarkan kesepakatan. Diskusi bersama tentang dasar-dasar dari masing-masing orang memilih suatu angka (*n)* harus dilakukan di lapangan, atas dasar diskusi itu maka disepakati suatu angka (*n).*

5 Rumus-rumus perhitungan

5.1 Rumus perhitungan debit untuk metode kemiringan luas

- Apabila jumlah penampang melintang 2 buah,

$$Q = K_2 \sqrt{\frac{\Delta h}{\frac{K_2}{K_1}L + \frac{K_2^2}{2gA_2^2}\left[-\alpha_1\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2(1-k) + \alpha_2(1-k)\right]}} \quad \text{..... (11)}$$

- Apabila jumlah penampang melintang 3 buah

$$Q = K_3 \sqrt{\frac{\Delta h}{\frac{K_3}{K_2}\left(\frac{K_3}{K_1}L_{1-2} + L_{2-3}\right) + \frac{K_2^2}{2gA_2^2}\left[-\alpha_1\left(\frac{A_3}{A_1}\right)^2(1-k_{1-2}) + \alpha_2\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^2(k_{2-3} - k_1)_2 + \alpha_3(1-k_{2-3})\right]}} \quad \text{..... (12)}$$

- Apabila jumlah penampang melintang lebih dari 3 buah sebanyak m buah penampang:

$$Q = K_2\sqrt{\frac{\Delta h}{A+B}} \quad \text{..... (13)}$$

$$A = K_m^2\frac{L_{1-2}}{K_1K_2} + K_m^2\frac{L_{2-3}}{K_2K_3} + \ldots\ldots\frac{K_m^2 L_{(m-2)-(m-1)}}{K_{(m-2)}K_{(m-1)}} + \frac{K_m^2 L_{(m-1)-m}}{K_{(m-1)}K_m} \quad \text{..... (13a)}$$

$$B = \frac{K_m^2}{A_m^2 2g}\left[-\alpha_1\left(\frac{A_m}{A_1}\right)^2(1-k_{1-2}) + \alpha_2\left(\frac{A_m}{A_2}\right)^2(k_{2-3} - k)_{1-2} + \alpha_3\left(\frac{A_m}{A_3}\right)^2(k_{3-4} - k)_{2-3} + \ldots\ldots\right.$$

$$\left. + \alpha_{(m-1)}\left(\frac{A_m}{A_{(m-1)}}\right)^2(k_{(m-1)-m} - k_{(m-2)-(m-1)}) + \alpha_m(1+k)_{(m-1)-m}\right] \quad \text{..... (13b)}$$

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

keterangan:
Q adalah debit (m^3)
m adalah banyaknya sub penampang
K adalah daya hantar (m^3/s)
α adalah koefisien tinggi tekan kecepatan

5.2 Rumus untuk perhitungan daya hantar

Rumus untuk menghitung nilai daya hantar:

$$K = \frac{1{,}486}{n} AR^{2/3} \quad \text{.....} \quad (14)$$

$K = 1/n\ AR^{2/3}$

keterangan:
K adalah daya hantar (m^3/s)
n adalah koefisien kekasaran Manning
A adalah luas penampang melintang (m^2)
R adalah jari-jari hidraulik (m)

Perhitungan berbagai faktor sebagai komponen untuk menghitung debit:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}, \text{ atau } Q = KS_f^{1/2} \quad \text{.....} \quad (15)$$

keterangan:
K adalah daya hantar (m^3/s)
n adalah koefisien kekasaran Manning
A adalah luas penampang melintang (m^2)
S^f adalah kemiringan garis energi
R adalah jari-jari hidraulik

6 Pengukuran dan perhitungan debit puncak sungai

6.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan dilakukan sebagai berikut:
1) Pilih lokasi pengukuran sesuai dengan ketentuan segera setelah debit puncak terjadi.
2) Siapkan peralatan dan perlengkapannya untuk mengukur kemiringan muka air aliran puncak.
3) Siapkan peralatan dan perlengkapannya untuk mengukur jarak diantara dua penampang melintang.
4) Siapkan formulir untuk mengukur kemiringan muka air aliran puncak (formulir SL.1).
5) Siapkan formulir isian untuk pengukuran penampang basah aliran puncak (formulir SL.2).
6) Siapkan formulir untuk perhitungan debit (formulir SL.3).
7) Siapkan alat tulis yang digunakan sesuai dengan kebutuhan.
8) Siapkan kertas milimeter dan alat gambar yang digunakan sesuai dengan kebutuhan.
9) Perintahkan pada setiap petugas pengukuran untuk melaksanakan tugasnya masing-masing.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

6.2 Tahap pengukuran penampang basah (catat pada formulir SL.2 seperti pada contoh terlampir) dilakukan sebagai berikut:

1) Pembacaan tinggi muka air pada alat duga air saat muiai pengukuran penampang basah.
2) Ukur lebar dan kedalaman aliran di setiap penampang pengukuran.
3) Pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat berakhirnya pengukuran penampang basah.
4) Ukur elevasi aliran puncak di setiap penampang basah.
5) Tentukan dan hitung luas setiap penampang basah debit tertinggi.
6) Tentukan dan hitung keliling penampang basah debit tertinggi.
7) Hitung jari-jari hidrolis penampang basah debit tertinggi.

6.3 Tahap pengukuran elevasi tanda-tanda bekas debit puncak (catat pada formulir SL.1 seperti pada contoh terlampir) dilakukan sebagai berikut:

1) Pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat mulai pengukuran.
2) Letakkan alat penyipat ruang kurang lebih di tengah-tengah di antara penampang hulu dan penampang hilir setiap dua penampang pengukuran.
3) Ukur jarak antara penampang hulu dan penampang hilir dengan alat penyipat ruang setiap dua penampang pengukuran.
4) Pengukuran elevasi tanda-tanda bekas puncak debit pada tebing kanan dan kiri aliran sungai antara penampang hulu dan hilir.
5) Pembacaan tinggi muka air pada papan duga air saat berakhirnya pengukuran.
6) Ulangi pekerjaan butir 1) sampai dengan 5) untuk setiap dua penampang pengukuran yang lain;

6.4 Tahapan perhitungan debit (catat pada formulir SL.3) sebagai berikut :

1) Isian pada tabel data lapangan

a) Tentukan dan hitung jarak setiap dua penampang masukkan ke baris ke 2 (dua).
b) Tentukan dan hitung beda tinggi muka air banjir setiap dua penampang masukkan ke baris 3 (tiga).

2) Isian pada tabel data karakteristik penampang

a) Tentukan koefisien kekasaran (*n*) setiap penampang dan isikan pada kolom 2.
b) Hitung 1/n dan isikan dalam kolom 3.
c) Tentukan dan hitung luas penampang basah dan isikan dalam kolom 4.
d) Tentukan dan hitung jari-jari hidraulis, dan isikan datanya pada kolom 5.
e) Data jari-jari hidrolis butir (6) dipangkatkan 2/3 dan isikan datanya pada kolom 6.
f) Hitung hantaran setiap penampang dengan rumus (5) dan isikan datanya pada kolom 7.
g) Apabila penampang melintang tidak dibagi-bagi, isikan nilai alfa = 1 pada kolom 8.
h) Apabila penampang melintang dibagi-bagi, maka hitung :
   (1) Hantaran dipangkatkan 3 dan isikan datanya pada kolom 9.
   (2) Luas dikuadratkan dan isikan datanya pada kolom 10.
   (3) Alfa (koefisien tinggi kecepatan) dan isikan datanya pada kolom 11.
   (4) Hantaran rata-rata setiap dua penampang dan isikan datanya pada lajur (kw).
   (5) Debit setiap dua penampang berdasarkan rumus 1, 2 atau 3 tergantung pada jumlah penampang.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

3) Isian pada tabel perhitungan debit

a) Hasil perhitungan pada butir 2) bagian butir h), (5) di atas merupakan debit perkiraan dan isikan datanya pada Tabel Perhitungan Debit kolom (2).
b) Gunakan data debit perkiraan kolom (2) untuk menghitung tinggi kecepatan (hv) berdasarkan rumus 8 setiap penampang dan isikan datanya pada kolom (3).
c) Hitung beda tinggi kecepatan setiap 2 penampang dan isikan datanya pada kolom (4).
d) Hitung kehilangan energi **hf** karena gesekan berdasarkan rumus 3 setiap 2 penampang dan isikan datanya pada kolom (5).
e) Hitung kemiringan S_f garis energi berdasarkan rumus 5 atau 6 setiap 2 penampang dan isikan datanya pada kolom (6).
f) Lakukan perhitungan debit berdasarkan rumus 15, $Q = Kw\ S^{1/2}$ setiap dua penampang dan isikan datanya pada kolom (7).
g) Bandingkan data debit kolom (2) dengan data debit puncak kolom (7) apabila perbedaannya kurang dari 5% maka debit setiap 2 penampang telah diperoleh, apabila perbedaannya lebih besar 5% maka data debit kolom (2) perlu diubah lagi, dan ulangi mulai tahapan butir 3) bagian butir b) sampai dengan butir f).
h) Lakukan tahapan butir 3) bagian butir b) sampai dengan butir g) untuk setiap dua penampang pengukuran yang lain.
i) Debit akhir adalah hasil rata-rata pada kolom 7 dari seluruh penampang.

7 Evaluasi hasil

Evaluasi hasil pengukuran dilakukan sebagai berikut:

a) Debit dihitung secara manual atau dengan menggunakan program komputer dan harus dievaluasi apakah hasilnya dapat dipertanggungjawabkan, selisih debit perkiraan dan perhitungan debit akhir tidak lebih dari 5% (tahapan sub pasal 6.4 butir 3) bagian butir b) dengan tahapan butir i) tidak lebih dari 5%.

b) Bandingkan bilangan Froude yang dihasilkan dari setiap penampang.

1) Bilangan Froude lebih besar dari 1,0 *(aliran super-kritik)* berubah menjadi kurang dari 1,0 *(aliran sub-kritik)* menunjukkan kemungkinan terjadi loncatan air pada ruas saluran yang bersangkutan. Ruas saluran semacam ini harus diragukan karena kehilangan energi tidak dapat ditentukan secara teliti dengan metode ini.

2) Sebaliknya, perubahan aliran dari sub krilik menjadi super-kritik menunjukkan adanya suatu kontraksi atau air terjun di dalam ruas saluran, kedua kondisi tersebut tidak diperhitungkan dalam metode ini, oleh karena itu hasil perhitungan debit tidak dapat dipercaya.

3) Jika bilangan Froude menunjukkan adanya masalah maka harus periksa ulang data profil. Terjunan mungkin terlihat untuk kondisi pasal ini pada butir 2). Perubahan lambat laun dari subkritik ke super-kritik mungkin dapat terjadi, dan akan menghasilkan profil tanda bekas banjir secara kontinyu dan halus, pada kejadian ini debit yang dihitung dapat berlaku.

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

8 Laporan

Laporan pengukuran disajikan dalam formulir seperti terlihat pada Lampiran B, yang memuat :

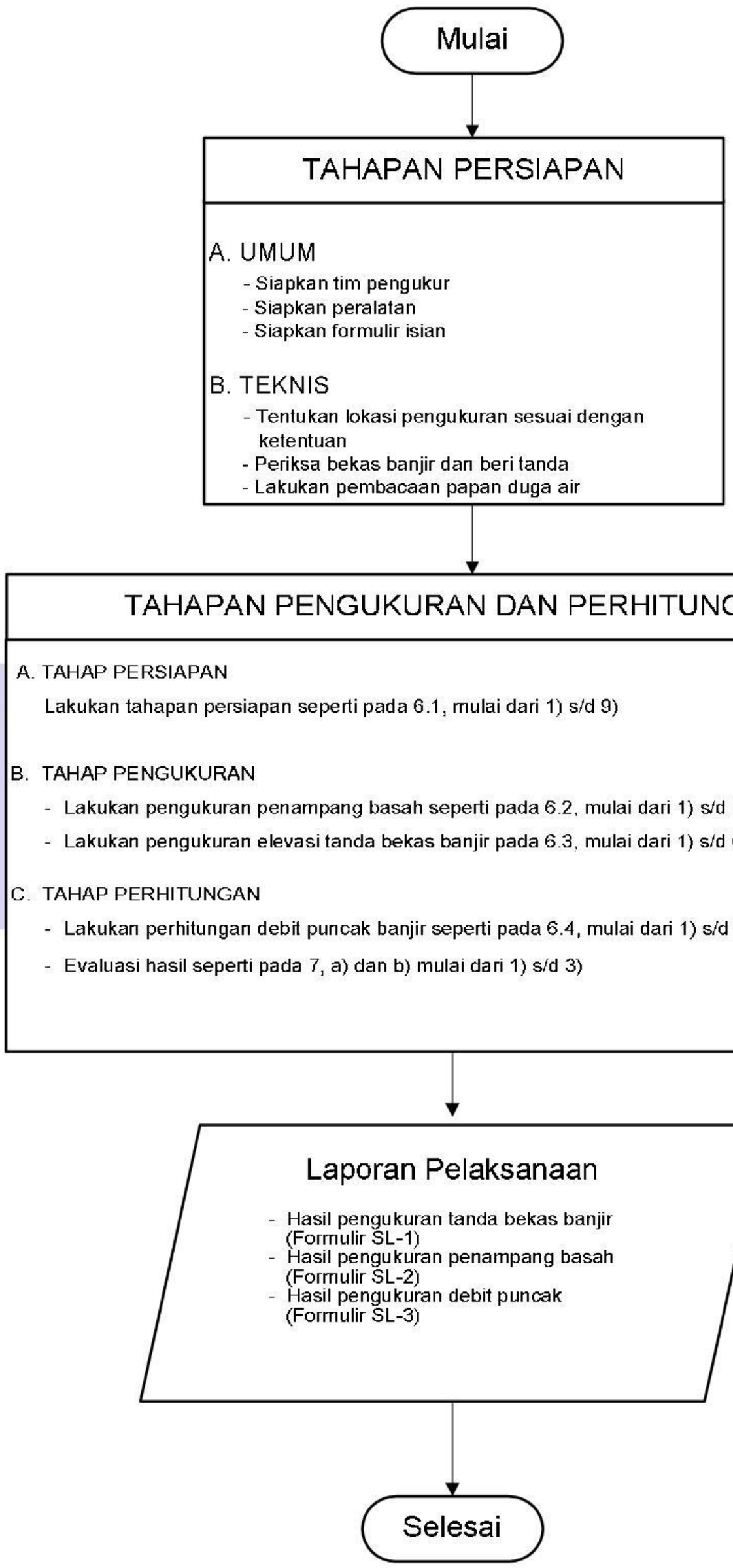
1) formulir SL.1, formulir ini berisi data pengukuran elevasi tanda-tanda bekas debit puncak;

2) formulir SL.2, formulir ini berisi data pengukuran penampang basah;

3) formulir SL.3, formulir ini berisi data perhitungan debit puncak.

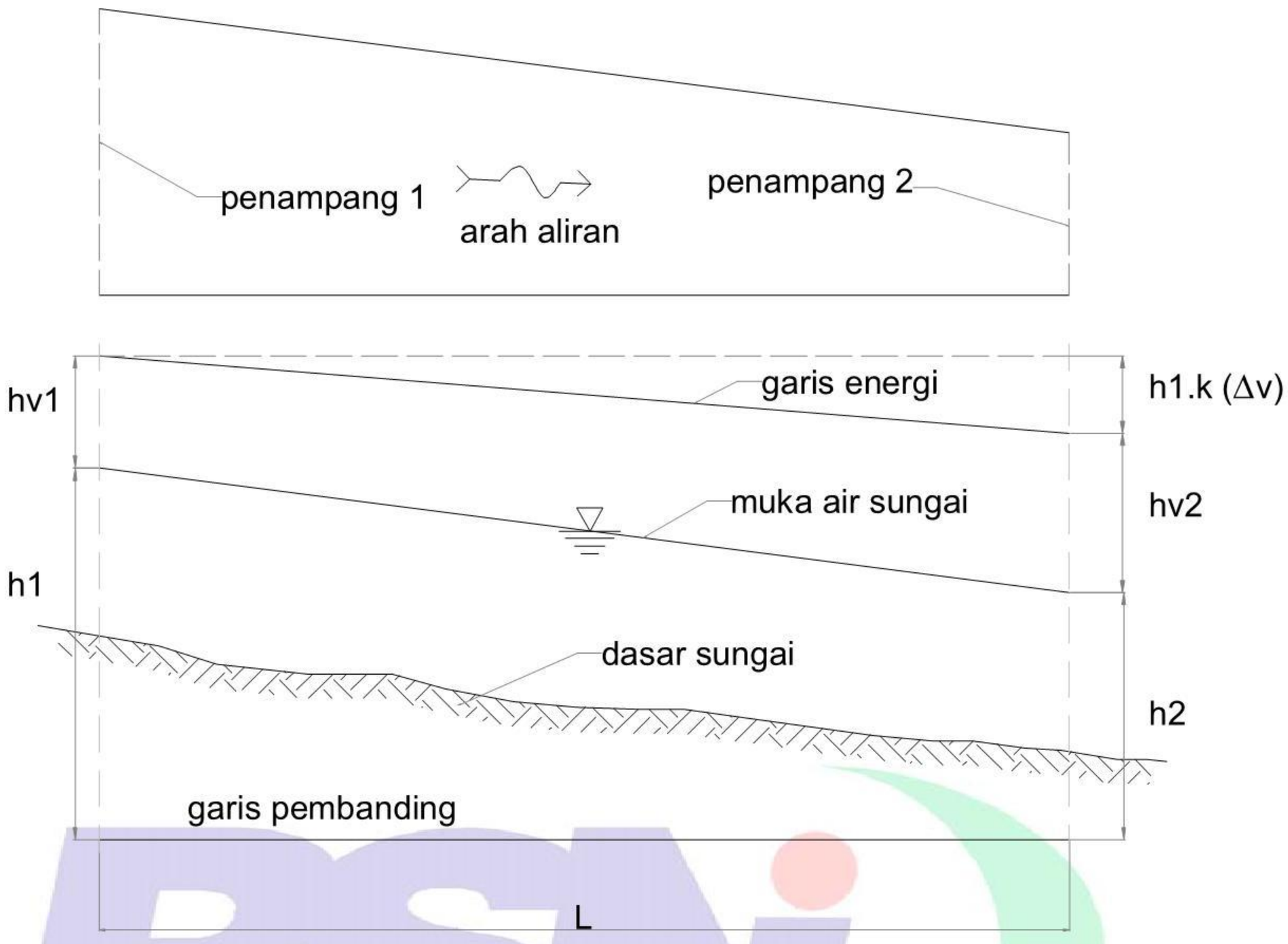
"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Lampiran A
(normatif)
Gambar-gambar



Gambar A.1 - Bagan alir cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"



Keterangan gambar:

hv1 : tinggi-tekan kecepatan hulu

h1 : tinggi muka air di hulu

hv2 : tinggi-tekan kecepatan hilir

h2 : tinggi muka air di hilir

Gambar A.2 - Sketsa penampang memanjang pengukuran debit puncak

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Lampiran B
(normatif)
Tabel perhitungan (formulir isian)

Tabel B.1 - formulir isian SL -1

KARTU PENGUKURAN TANDA BEKAS BANJIR
METODE PENGUKUKAN DEBIT PUNCAK

Penampang	:	Tanggal Debit Puncak	: .....
Sungai	:	Jam	: .....
Tempat	:	Tanggal Pengukuran	: .....
Diukur Oleh	: 1.	Waktu Mulai	: .....MA : .....m
	2.	Waktu Selesai	: .....MA : .....m

	TEBING KANAN		TEBING KIRI	
NO.	TITIK PEMBACAAN	ELEVASI (m)	TITIK PEMBACAAN	ELEVASI (m)
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....

Diperiksa Oleh :

(.....)

Penanggung Jawab :

(.....)

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Tabel B.2 - fomulir isian SL -2

KARTU PENGUKURAN PENAMPANG BASAH
METODE PENGUKURAN DEBIT PUNCAK

Penampang	: ……………………….	Tanggal Debit Puncak	: ……………………….
Sungai	: ……………………….	Jam	: ……………………….
Tempat	: ……………………….	Tanggal Pengukuran	: ……………………….
Diukur Oleh	: 1. …………………….	Waktu Mulai	: ……..MA : ………m
	2. …………………….	Waktu Selesai	: ……..MA : ………m

VERTIKAL	LEBAR	E L E V A S I			LUAS (A)	KELILING BASAH
		MA	DALAM	DALAM		
Jumlah						
R=A/0 =						

Diperiksa Oleh : Penanggung Jawab :

(…………………………..……) (…………………….)

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Tabel B.3 - formulir isian SL -3

KARTU PENGUKURAN DEBIT PUNCAK
PENGUKURAN DEBIT PUNCAK

Penampang	:	Tanggal Debit	: .....
Sungai	:	Jam	: .....
Tempat	:	Tanggal Pengukuran	: .....
Diukur Oleh	: 1.	Waktu Mulai	: .....MA : .....m
	2.	Waktu Selesai	: .....MA : .....m

Bagian Alur Sungai	-	-	-	Tinggi Muka Air	: ..... m
Panjang (m)	-	-	-	Debit	: .....m^3/det
Beda MA (m)	-	-	-	Luas DPS	: .....km^2

1. Data Karakteristik Penampang

Penampang	n	I/n	A	R	$R^{2/3}$	k	α	k^3		α	q	v
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I												
II												
III												
Iw												

2. Perhitungan Debit

Bagian	Perkiraan	hv	Δ hv	hf	S	Q terhitung = Kw $S^{1/2}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1 - 2						
2 - 3						
3 – 4						
Debit dihitung dengan rumus Tabel 1 :						

Diperiksa Oleh :

(.....)

Penanggung Jawab :

(.....)

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Lampiran C
(informatif)
Tabel contoh perhitungan (isian formulir)

Tabel C.1 - Contoh isian formulir SL -1

KARTU PENGUKURAN TANDA BEKAS BANJIR
METODE PENGUKUKAN DEBIT PUNCAK

Penampang	: 1-2	Tanggal Debit Puncak	: 2 Oktober 1999
Sungai	: Yeh Empas	Jam	: 08.00
Tempat	: Celagi - Bali	Tanggal Pengukuran	: 2 Oktober 1984
Diukur Oleh	: 1. Oma Warma	Waktu Mulai	: 15.00 MA : 2,52 m
	2. Sutjipto	Waktu Selesai	: 16.00 MA : 2,52 m

	TEBING KANAN		TEBING KIRI	
NO.	TITIK PEMBACAAN	ELEVASI (m)	TITIK PEMBACAAN	ELEVASI (m)
	1	1,103	1	1,101
	2	1,052	2	1,050
	3	1,023	3	1,021
	4	0,939	4	0,933
	5	0,793	5	0,741
	6	5,520	6	0,948

Diperiksa Oleh :

Dra. Henny Maria

Penanggung Jawab :

Drs. Soewarno

Tabel C.2 - Contoh isian formulir SL -2

KARTU PENGUKURAN PENAMPANG BASAH
METODE PENGUKURAN DEBIT PUNCAK

Penampang	: 1	Tanggal Debit Puncak	: 2 - 10 - 1984
Sungai	: Yeh Empas	Jam	: 08.00
Tempat	: Celagi - Bali	Tanggal Pengukuran	: 2 - 10 - 1984
Diukur Oleh	: 1. Oma Warma	Waktu Mulai	: 15.00 MA : 2,52 m
	2. Sutjipto	Waktu Selesai	: 15.00 MA : 2,52 m

VERTIKAL	LEBAR	ELEVASI			LUAS (A)	KELILING BASAH
		MA	DALAM	DALAM RATA-		
0		0,252	0			
	0,50			0,18	0,09	0,90
0,50	2,25		0,36	0,84	1,89	2,20
2,75			1,32			
	2,69			1,59	4,28	2,70
5,44	0,50		1,85	2,06	1,03	0,90
5·94			2·27			
	1,00			2,40	2,40	0,70
5.94	0,90		2,53	2,57	2,31	1,00
7,84			2,61			
	1,00			2,65	2,65	1,00
8,84	0,90		2,69	2,71	2,43	0,90
9,74			2,72			
	1,00			2,78	2,78	1,10
10,74	1,00		2,83	2,77	2,77	1,10
11,74			2·70			
	1,00			2,73	2,73	1,00
12,74	1.00		2,76	2,65	2,65	1,20
13,74			2,54			
	1,00			2,37.	2,37	1,10
14,74	0,45		2,19	1,90	1,90	0,80
15,19			1,79			
	1,00			1,57	1,57	1,60
16,69	0,45		1,35	1,01	0,45	1,50
17,14			0,66			
	1,00			0,33	0,33	1,60
18,14						
Jumlah					34,63	21,30
R=A/0= 1,63						

Diperiksa Oleh :

Dra. Henny Maria

Penanggung Jawab :

Drs. Soewarno

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Tabel C.3 - Contoh isian formulir SL -3

KARTU PENGUKURAN DEBIT PUNCAK
PENGUKURAN DEBIT PUNCAK

Penampang	: 1-3	Tanggal Debit	: 20 Oktober 1984
Sungai	: Yeh Empas	Jam Puncak	: 06.00
Tempat	: Celagi – Bali	TanggaL Pengukuran	: 2 Oktober 1984
Uiukur Oleh	: 1. Oma Warma	Haktu Mulai	: 15.00 MA :2.52 m
	2. Sutjipto	Haktu Selesai	: 16.00 MA :2.52 m

Bagian Alur Sungai	1-2	2-3	3-4	Tinggi Muka Air	: 2,33 m
Panjang (m)	44,5	39,5	-	Debit	: 31,9 m^3/s
Beda MA (m)	0,513	0,552	-	Luas DPS	: 30,85 km^2

3. Data Karakteristik Penampang

Penampang	n	l/n	A	R	$R^{2/3}$	k	α	k^3		α	q	v
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	0,09	11,1	3,51	0,61	0,719	28,05		1791,37		1,10	3,60	0,80
II	0,08	12,5	18,72	1,39	1,245	291,45		70644,85			29,1	1,55
	0,08	12,5	16,17	1,26	1,167	237,25		50447,96		1,08	26,3	1,62
III	0,09	11,1	5,42	0,76	0,833	50,15		4293,95			5,57	1,03
	0,09	11,1	20,13	0,90	0,935	208,9				1,0	31,9	1,58
lw	1-2	303.0		2-3	244,8			3-4				

4. Perhitungan Debit

Bagian	Perkiraan	hv	Δ hv	hf	S	Q terhitung
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1 - 2	33,8	0,130 0,134	-0,004	0,556	0,01249	33,8
2 - 3	30,0	0,105 0,113	-0,008	0,592	0,01499	30,0
3 – 4	-	- -	-	-		
Debit dihitung dengan rumus Tabel 1 :					31,9	

Diperiksa Oleh :

Dra. Henny Maria

Penanggung Jawab :

Drs. Soewarno

Lampiran D
(informatif)

Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya

No.	Materi	Sebelum	Revisi
1.	Judul	Tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas	Tata cara pengukuran debit pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas
2.	Format	Belum mengikuti format PSN 08:2007	Disesuaikan dengan format PSN 08:2007
3.	Acuan normatif	Ada	Dilengkapi
4.	Istilah dan definisi	Ada	Dilengkapi
5.	Ketentuan dan persyaratan	Ada	Diperbaiki dan ditambahkan
6.	Bagan alir	Belum ada	Dibuatkan gambar bagan alir
7.	Gambar	Sudah ada	Ditambahkan dan diperjelas
8.	Contoh formulir	Belum ada	Ditambahkan tabel formulir isian
9.	Tabel deviasi teknis	Belum ada	Ditambahkan tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Bibliografi

SNI 03-6467.2-2000, *Tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas*.

ASTM D 1129, *Terminology relating to water*.

ASTM D 2777, *Practice for determination of precision and bias of applicable methods of commite D-19 on water*.

ASTM D 3558, *practice for open channel flow measurement of water by velocity-area method*.

ISO 748, *Liquid flow measurement in open channels velocity-area method*.

ISO 1070, *Liquid flow measurement in open channel slope-area method*.

Ven Te Chow, *Open-Channel Hydraulics*, 1959

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"